

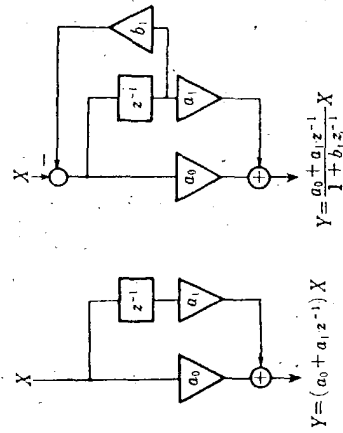
保護繼電工学

BEST AVAILABLE COPY

と表される。巡回形フィルタの伝達関数は、

$$H(z) = \frac{a_0 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2} + \dots + a_N z^{-N}}{1 + b_1 z^{-1} + b_2 z^{-2} + \dots + b_N z^{-N}} = \frac{\sum_{k=0}^N a_k z^{-k}}{1 + \sum_{k=1}^N b_k z^{-k}} \quad (6.7)$$

と表され、いずれも加算と定数乗算と遅延の基本演算の組合せである。 N をフィルタの次数と呼ぶ。一次の非巡回形と巡回形フィルタの例をブロック図で表すと第6.9図のようになる。



(a) 非巡回形フィルタ (b) 巡回形フィルタ

第6.9図 デジタルフィルタの構成

デジタル形継電器では、演算が簡単な非巡回形が使用されている。その主なものとして、差分・積分・積分・積分フィルタがあり、演算式、伝達関数、ゲイン・位相の周波数特性を第6.1表に示す。伝達関数は、たとえば差分フィルタの場合、演算式

第6.1表 各種デジタルフィルタ

フィルタ	演算式	伝達関数	ゲイン	位相
差分	$y(nT) = x(nT) - x(nT - kT)$	$1 - z^{-k}$	$2 \left \sin \frac{k\omega T}{2} \right $	$\pi - \frac{k\omega T}{2}$
加算	$y(nT) = x(nT) + x(nT - kT)$	$1 + z^{-k}$	$2 \left \cos \frac{k\omega T}{2} \right $	$-\frac{k\omega T}{2}$
積分	$y(nT) = x(nT) + x(nT - T) + \dots + x(nT - kT)$	$\frac{1 - z^{-(k+1)}}{1 - z^{-1}}$	$\frac{\sin \frac{(k+1)\omega T}{2}}{\sin \frac{\omega T}{2}}$	$-\frac{k\omega T}{2}$

$y(nT) = x(nT) - x(nT - kT)$ を z 変換して

$$Y(z) = X(z) - X(z) z^{-k} \quad (6.8)$$

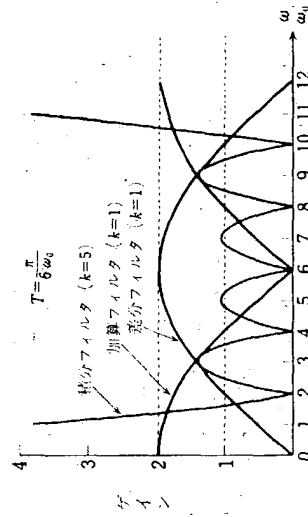
$$\therefore H(z) = \frac{Y(z)}{X(z)} = 1 - z^{-k} \quad (6.9)$$

として得られる。周波数特性は、 $z = e^{j\omega T}$ と置いて

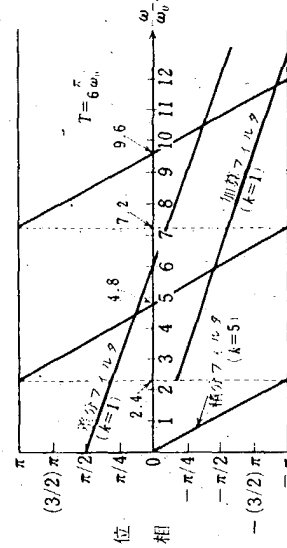
$$H(\omega) = 1 - e^{j\omega T} = 1 - (\cos k\omega T - j \sin k\omega T) \quad (6.10)$$

から求めることができる。

一次差分フィルタ、一次加算フィルタ、5次積分フィルタのゲイン特性と位相特性を第6.10図、第6.11図に示す。



第6.10図 デジタルフィルタのゲイン特性



第6.11図 デジタルフィルタの位相特性

デジタル形継電器としては、サンプリングによる折り返し誤差を避けるためのアナログ形低域フィルタも欠くことができないので、フィルタ効果としては、デジタルフィルタだけでなく、この低域フィルタも考慮して検討する必要がある。

6.2.4 演算原理

デジタル形継電器は、サンプリング・A/D変換されたデータから、事故検出を行うため、適切な演算処理を施してから判断する必要がある。この演算処理の方法には種々の方式が考えられているが、保護継電器という立場から、高速・高精度が要求されるのは言うまでもない。このため、デジタルプロセッサは、演算処理時間が短いことが要求される。

静止形継電器と同様に、事故時の電流や電圧の大きさを判定するレベル検出、事故点の方向や事故点までのインピーダンスを判定する位相検出や絶対値比較のための演算原理を第6.2表に示す。この表に示したものは、いずれも基本波の特長を利用した演算原理で、高調波に対してデジタルフィルタ効果もある。演算式は、サンプリング周波数が、系統周波数の12倍（サンプリング間隔 30° ）の場合を示し、サンプリングされたデータ $x(nT)z^{-n}$ について

$$x_0 = x(0), \quad x_1 = x(T)z^{-1}, \quad x_2 = x(2T)z^{-2}, \dots$$

第6.2表 基本波ベースの演算原理

方式	演算式	所要サンプリング数	精度	デジタルフィルタ	使用目的 検出位相 絶対比較
整 流 加 算	$X = x_0 + x_{-3} + k \left x_0 - x_{-3} \right $ ($k = \sqrt{2} - 1$)	2 ($\frac{1}{4}$ サイクル間隔)	$\pm 5.5\%$ 4 相 全波整流	加算 フィルタ	○
	$X = \sum_{n=0}^5 x_{-n} $	6 ($\frac{1}{2}$ サイクル間隔)	$\pm 1.7\%$ 6 相 全波整流	積分 フィルタ	○
	$X = \sum_{n=0}^2 \left\{ x_{-n} + x_{-n-3} + k \left x_{-n} - x_{-n-3} \right \right\}$	6 ($\frac{1}{2}$ サイクル間隔)	$\pm 0.6\%$ 12 相 全波整流	積分 フィルタ	○
積 加 算	$X^2 = x_0^2 + x_{-3}^2$	2			○
	$XY \cos \theta = x_0 y_0 + x_{-3} y_{-3}$	2 ($\frac{1}{4}$ サイクル間隔)	0 %	加算 フィルタ	○
	$XY \sin \theta = x_0 y_{-3} - x_{-3} y_0$				○

として示してある。

整流加算方式は、基本波に対しては一種の多相整流と同様の精度で直流に変換しようとするもので、そのリップル分がサンプリング位相による誤差に対応する。A方式は、 90° 間隔の2サンプリングデータだけで演算するもので、応答速度は $1/4$ サイクルと速いが、精度は4相全波整流のリップル分だけあり、 $\pm 5.5\%$ となる。精度を犠牲にして $k=0.5$ にすれば、演算処理時間を短縮できる。B方式は、面積形とも呼ばれ、半波の面積計算に等しく、半波のサンプリング数が6の場合、精度は6相全波整流のリップル分に相当し、 $\pm 1.7\%$ となる。応答速度は $1/2$ サイクルとなるが、高調波に対しては積分フィルタの効果が有り、演算処理時間も前サンプリング時の計算結果を記憶しておけば、加算・減算各1回で済む。C方式は、A方式を過去3サンプリング分について加算したもので、精度は12相全波整流のリップル分に相当し、 $\pm 0.6\%$ と小さい。応答速度はB方式と同じであるが、フィルタ効果はB方式より大きい。A, B, C方式は、いずれもレベル検出に使用できるが、精度の良いB, C方式は、絶対値比較式の距離継電器にも適用されている。

積加算方式は、基本波の積演算を行うもので、電磁形継電器の誘導円筒形要素と同じ原理である。基本波の積演算の結果発生する第二調波は、加算フィルタで除去する。整流加算方式で発生するサンプリング位相による誤差は全くとなく、応答速度も $1/4$ サイクルで速い。2入力 x と y の積を演算する場合には、2入力間の位相差を θ とすると、 $XY \cos \theta$ や $XY \sin \theta$ の演算ができ、これの正負判定によって位相検出を行ったり、有効・無効電力の計算に利用できる。掛算の必要があるため、演算処理時間は整流加算方式に比べて不利であるが、汎用性が広い。

第6.2表以外にも、前後のサンプリングデータから微係数を折線近似で算出し、積加算方式の 90° 前のデータの代わりに使用する微分加算方式や、1サンプリング前のデータと現データから三角関数を用いて積加算方式と同じ出力を演算する連続サンプリング積加算方式も提案されている。いずれも応答速度が第6.2表のものより速いが、高調波に対するフィルタ効果が小さく、演算処理時間が長くなる欠点がある。

距離継電器の演算方式としては、電圧・電流の基本波ベクトルを利用し、第6.2図の積加算方式による位相検出や整流加算方式による絶対比較によって、あらかじめ

第6.3表 直接インピーダンス計算法

原 理	計 算 方 法
ベクトル計算	$Z^2 = \frac{V^2}{I^2}$ $R = \frac{VI \cos \theta}{I^2}$ $X = \frac{VI \sin \theta}{I^2}$
回路方程式	$v = Ri + L \frac{di}{dt} \longrightarrow R, L$ $\frac{dv}{dt} = R \frac{di}{dt} + L \frac{d^2i}{dt^2}$
	$\int_0^T v dt = R \int_0^T i dt + L \left\{ \int_0^T \frac{di}{dt} dt \right\} \longrightarrow R, L$ $\int_{-T}^0 v dt = R \int_{-T}^0 i dt + L \left\{ \int_{-T}^0 \frac{di}{dt} dt \right\}$
直交変換	$v, i \text{ について直交変換}$ $V_R, V_X, I_R, I_X \longrightarrow$ $R = \frac{V_R I_R + V_X I_X}{I_R^2 + I_X^2}$ $X = \frac{V_X I_R - V_R I_X}{I_R^2 + I_X^2}$

め設定したインピーダンスの内外を間接的に判定する静止形継電器と同様な方法が可能である。また、デジタルプロセッサの計算能力を利用して、事故点までのインピーダンスを直接計算する方法があり、第6.3表に示す。

ベクトル計算法は、電圧・電流の基本波ベクトルを用いて計算するもので、積加算方式、微分加算方式、連続サンプリング積加算方式などを利用できる。

回路方程式法は、 R と L を未知数にした連立方程式をつくって解くものであるが、連立方程式のつくり方にいろいろ異なる方法がある。原微分方程式とこれをさらに微分または積分した方程式と連立させる方法と、サンプリング時刻の異なったデータをを用いて連立させる方法とがある。第6.3表には、前者の微分形の例をAに、後者の積分形についての例をBに示す。回路方程式法は、応答速度が速く、積分を利用したものは、高調波に対するフィルタ効果が大きく計算精度が高い。

直交変換法は、フーリエ変換、ウォルシュ変換などによって、電圧・電流を直交

変換し、その成分を用いて R, X を算出するもので、フィルタ効果は大きい、応答速度が遅い。

以上のインピーダンス直接計算法は、いずれも演算処理時間が長くなるので、インピーダンス領域判定段数の多いものや、複雑な領域判定が必要な距離継電器に適している。また、インピーダンスの数値そのものを出力する必要があるロケータや事故記録用に有効である。

6.3 デジタル形継電器のシステム設計

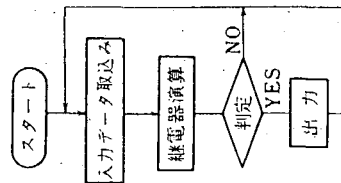
6.3.1 デジタル形継電器のソフトウェア構成

デジタル形継電器のソフトウェアの構成は、事故を検出するためのプログラムと、これによって始動されるタイマ・ロジックセンスとから成る。前者は、6.2節の演算原理を主体に実行するもので、数値計算主体のソフトウェアとなるが、後者は論理演算主体のソフトウェアとなる。

事故を検出するためのソフトウェア構成の基本フローチャート(流れ図)は第6.12図のようになる。系統からA/Dの変換されたデータをデータメモリに取り込み、演算原理による継電器演算を行い、整定メモリデータを参照して動作判定をし、不動作であれば、再び新しい入力データの取込みに入る。判定が動作であれば、出力回路を駆動し、次の入力データの取込みに入る。

継電器演算のブロックの中は、実際のデジタル形継電器では、多数の継電器要素の演算を行う必要がある。この各要素の演算は直列になり、全演算時間は長くなる。このため、高速度を必要とするデジタル形継電器では、サンプリング周期内に全演算を終了し、次の入力データの取込みができるようにする必要があるが、動作速度に余裕がある場合は、全継電器要素を n グループに分割し、 n サンプリングごとに演算する方法もある。

第6.13図に三相の短絡・地絡距離継電器の例を示す。各相の演算が順次実行されるが、全相の演算時間がサンプリング周期以内に終了できない場合には、1相分



第6.12図 デジタル形継電器フローチャート